

ESTUDIO DE LA GEOMETRIA DEL COLECTOR SOLAR PARA LA REMOCIÓN FOTOCATALITICA DE COLORANTES ORGÁNICOS

TAFOYA RIVERA ROSA LAURA (1); MARTÍNEZ GARCÍA MARTÍN TRINIDAD (2)

¹ [LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA, UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO] | Dirección de correo electrónico: [rl.tafpyrivera@hotmail.com]

² [DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA, DIVISIÓN DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS, CAMPUS GUANAJUATO, UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO] | Dirección de correo electrónico: [garciamt@ugto.mx]

Resumen

Introducción. La fotocatalisis heterogénea es un método de tratamiento de agua que se lleva a cabo con ayuda de energía solar, de modo que es importante contar con un equipo que permita aprovechar la mayor cantidad posible. En el presente trabajo se estudia la geometría de un colector solar para obtener los parámetros que permitan la mejor remoción foto catalítica de colorantes orgánicos empleando TiO_2 . Se construyeron dos colectores, con la misma área, uno con una distancia de recorrido de 6.3 m y otro de 7 m, uno con fondo negro y el otro con fondo claro, sin inclinación, aspectos tomados de la bibliografía. El agua tratada se preparó con una concentración de aproximadamente 110 ppm de colorante comercial, se mezcló con anatasa y anatasa/ peróxido. La experimentación se llevó a cabo utilizando cada colector solar individualmente, y los dos en un arreglo en serie. La mayor remoción del colorante se obtuvo con los colectores en serie obteniendo una concentración final de 40.12 ppm, mientras que con el reactor uno se obtuvo 62.2 ppm y con el dos se obtuvo 68.8. En los experimentos realizados se trató agua a 110 ppm de colorante comercial obteniéndose 57.9%, 37.8%, 25.37% porcentaje de remoción del colorante en cada caso.

Abstract

Introduction. The heterogeneous photocatalysis is a method of water treatment is carried out with solar energy, so it is important to have a solar collector to use as much as possible this natural resource. In this study the geometry of a solar collector is studied to obtain the best parameters for photocatalytic removal of organic dyes using TiO_2 . Two collectors were built, with the same area, one with a travel distance of 6.3 m and a 7 m, one with a black background and the other with clear background, without inclination. The treated water is prepared at a concentration of about 110 ppm of commercial dye, was mixed with anatase and anatase / peroxide. The experimentation was conducted using each individual solar collector, and the two in a series arrangement. The best setting was serially as final concentration was obtained: while the reactor one was obtained and the two was obtained. This is mixed with anatase / peroxide dye. Six experiments were performed with an initial concentration of 110 ppm of a commercial dye. Finally was obtaining a certain percent's reduction with each setting, being a serial and anatase/ peroxide mixed the best

Palabras Clave

Fotocatálisis; Energía solar; Colector solar; Parámetros geométricos; tratamiento de aguas residuales.

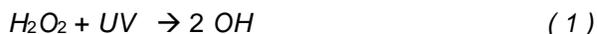
INTRODUCCIÓN

Desde su aparición, la familia de los colorantes reactivos es la que más se ha estudiado y desarrollado, siendo muy utilizados para el tenido de telas de algodón pues reaccionan con las fibras del tejido a través de sitios de anclaje formando enlaces covalentes muy resistentes a los tratamientos en húmedo [1,2]. Un 15% de la producción mundial de colorantes sintéticos es de colorantes *reactivos que se usan en la industria textil* generando problemas ambientales relacionados básicamente con las grandes cantidades de agua utilizadas en sus procesos y vertidas como efluentes contaminados. Se calcula que una industria textil consume entre 80 y 100 L de agua por kg de algodón tenido [2,3,4]. Los efluentes derivados de estas industrias se caracterizan por tener un pH inestable, altas temperaturas, elevada salinidad, elevadas concentraciones de colorantes que infunden al agua una coloración intensa.

La preservación del medio ambiente ha impulsado el surgimiento de tratamientos de las aguas residuales que posibilitan el reciclado y la reutilización del efluente tratado en algún punto del proceso industrial o bien su utilización como agua de riego. Los métodos más deseables para tratar efluentes acuosos son aquellos capaces de mineralizar los contaminantes residuales o transformarlos en materiales inocuos al hombre y a la naturaleza a un bajo costo. Existen diversos métodos para eliminar materia orgánica de efluentes acuosos, que emplean agentes oxidantes para efectuar la degradación, otros requieren de materiales adsorbentes y los que utilizan la degradación biológica.

La fotocatalisis heterogénea asistida con energía solar es un método de tratamiento de agua que se lleva a cabo mediante fotocatalisis con TiO_2 utilizando la radiación ultravioleta del espectro solar, para promover una reacción de oxidación muy energética [6].

El método $H_2O_2/UV/TiO_2$ implica la formación de radicales hidroxilo mediante la fotólisis del peróxido de hidrógeno (H_2O_2) por la acción de la radiación ultravioleta según la siguiente reacción:



las variables que producen un efecto significativo en el proceso de decoloración y degradación de materia orgánica en el vertido residual de una planta textil son [5]: la concentración de peróxido de hidrógeno (H_2O_2), el pH, la concentración inicial de colorante y la intensidad de la radiación ultravioleta de modo que es importante contar con un equipo que permita aprovechar la mayor cantidad posible.

El desarrollo de la tecnología de fotocatalisis solar se inició a finales de los años 80, partiendo de los diseños y sistemas ya existentes para procesos térmicos de baja y media temperatura (fundamentalmente colectores cilindro-parabólicos y sistemas sin concentración). Básicamente las modificaciones iniciales de estos equipos existentes consistieron en la modificación del reflector solar y en el receptor dado que éste debe de ser transparente a la luz para poder introducir los fotones dentro del fluido que se quiere tratar [7,8]. Otra de las diferencias importantes es la ausencia de aislamiento térmico dado que la temperatura no juega un papel significativo en el proceso. Debe notarse que la fotocatalisis es un proceso **fotónico**, a diferencia de los procesos **térmicos** preexistentes de aprovechamiento de la energía solar.

En el presente trabajo se estudia la geometría de un colector solar utilizado en la remoción fotocatalítica de colorantes orgánicos con TiO_2 para obtener los parámetros geométricos que permitan la mejor remoción del colorante algunas características del sistema implementado son; no posee pérdidas de rendimiento por factores asociados con la concentración y el seguimiento solar, tiene un mayor potencial para reducir el costo de fabricación y la superficie necesaria para su instalación es menor, ya que proyecta menos sombras que otros reportados en la bibliografía [9,10].

MATERIALES Y MÉTODOS

Todas las pruebas de decoloración y mineralización del colorante AZUL MEZCLILLA No.655, marca comercial "La Mariposa" se llevaron a cabo en el sistema mostrado en la figura 1. El

sistema está constituido por dos fotoreactores o colectores solares rectangulares, fabricados con un área 0.353 m², divididos con diferente número de canales. Ya que es importante el tiempo de residencia, y este depende de la distancia que recorre el efluente, el reactor 1 y el reactor 2, uno con diez canales a lo largo y otro con nueve a lo ancho respectivamente, de esta manera el primero de ellos tiene una distancia de 5.04 m y el otro 6.3 m de recorrido; de modo que el tiempo de residencia del efluente en cada uno de los reactores se obtuvo de 1 min con cuarenta segundos para el primero y 2 minutos con 20 segundos para el segundo, cuando tenemos el arreglo en serie conseguimos un total de 4 minutos con 23 segundos aproximadamente. Es importante mencionar que el espacio entre bafles cambio un poco dependiendo del colector, es decir en el primero de ellos el espacio fue aproximadamente de 7 cm, mientras que en el segundo el espacio entre cada baffle es de 5 cm.

Cada reactor tiene una altura de 5 cm, de la cual únicamente el 50% es ocupado por efluente. Los reactores se colocaron en posición completamente horizontal, lo que permite captar la radiación solar adecuada para efectuar el proceso fotocatalítico durante el periodo de experimentación, el que fue elegido en base al mapa de insolación global para el estado de Guanajuato y a las horas pico para el Laboratorio de Ingeniería Térmica ubicado en la sede Pueblito de Rocha. El proceso se llevo a cabo en estado batch con recirculación, para lo cual se utilizaron dos bombas diferentes una de ellas peristálticas y una centrifuga sumergible. La alimentación del agua con colorante se alimentó a los reactores por gravedad desde un tanque conteniendo los 40 L de solución a un altura de 1.5 m del piso.

Se usaron dos formas de catalizador, A y B. El colorante utilizado en los experimentos se utilizó para preparar soluciones con una concentración de 100 ppm. Se realizó la comparación con peróxido y sin peróxido en los experimentos. En la tabla No. 1 podemos ver los experimentos realizados con sus características. Los experimentos se realizaron utilizando los colectores de la siguiente forma; El sistema configurado con solamente el reactor 1, el sistema configurado con solamente el reactor 2 y finalmente el sistema configurado con los dos reactores 1 y 2 conectados en serie.



Figura 1: Sistema de remoción, colocado en serie (dos colectores, un tanque de almacenamiento y una bomba de recirculación)

Cada experimento tuvo una duración de cinco horas, de 10:00 am a 3:00 pm, se eligió este horario porque es justamente el periodo de mayor insolación solar, considerando el intervalo de horas pico de la radiación solar que para el sitio que es de 5-6 horas. Se tomaron las muestras cada hora y cada vez que se tomó una muestra se midió temperatura y pH a la entrada y salida de los reactores.

Para medir la concentración se utilizó un espectrofotómetro de UV-VIS, con el que inicialmente se tomó el espectro correspondiente a la solución de colorante y la que presenta su pico más alto en una longitud de onda de 620 nm, con este parámetro de referencia del espectrofotómetro, se realizó la curva de calibración correspondiente.

Resultados y discusión

La tabla No. 3 muestra el resumen de los resultados obtenidos en cada experimento. Nos indica el porcentaje de reducción de colorante en la muestra con cada uno de ellos.

Como podemos ver el experimento que mejor porcentaje de reducción presentó fue el experimento 4 que si volvemos a la tabla 1 podemos ver que corresponde al arreglo en serie

tiempo de residencia. En las figuras 2 y 3 se muestra la variación de la concentración con respecto a la temperatura y al pH respectivamente

Como se puede observar no existe una gran

Tabla 1: Resumen de experimentos realizados con el sistema Agua – Colorante-H₂O₂ y TiO₂.

Experimento	Características				
	Colorante	Catalizador (Tipo y g)	Peróxido (ml/L efluente)	Reactor	Volumen de efluente
1.	6 g	B, 1	No	Serie	40 L
2.	6 g	B, 1	2	Serie	40 L
3.	6 g	A, 1	No	Serie	40 L
4.	6 g	A, 1	2	Serie	40 L
5.	6 g	B, 1	2	1	40 L
6.	6 g	B, 1	2	2	40 L

de los reactores, el volumen de la solución es de 40 L de agua con 6 g de colorante, 1 g de dióxido de titanio tipo A y 2 ml de peróxido por cada litro de solución.

De los resultados obtenidos se puede observar que los mejores porcentajes de reducción, son cuando se utilizó peróxido lo cual comprueba lo reportado en la literatura, después cuando se tiene el arreglo en serie, esto quiere decir que aumentamos el tiempo de residencia, y lo podemos ver reflejado puesto que cuando comparamos el reactor 1 con el 2 este último es el que presenta el mejor porcentaje de reducción de colorante y podemos atribuir esto a que la distancia de recorrido es aproximadamente un metro mayor a la del primer reactor, por consecuencia el tiempo de residencia también es mayor.

Otro factor que se trabajó es el espaciamiento entre cada uno de los baffles que conforman los canales de flujo para cada reactor, lo que repercute en diferentes tiempos de residencia, pues entre menor sea el área de flujo mayor será la velocidad con la que este circule y por ende el

cambio ni en la temperatura ni en el pH.

Sin embargo se observa que al aumentar la temperatura, se logra más remoción de colorante debido a que conforme transcurre el tiempo de la experimentación, la radiación solar aumenta.

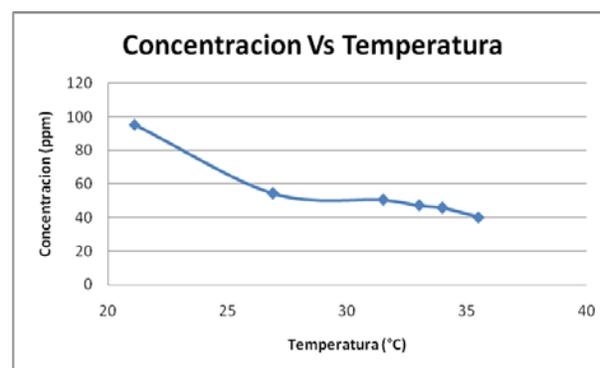


Figura 2. Variación de la concentración con respecto a la temperatura.

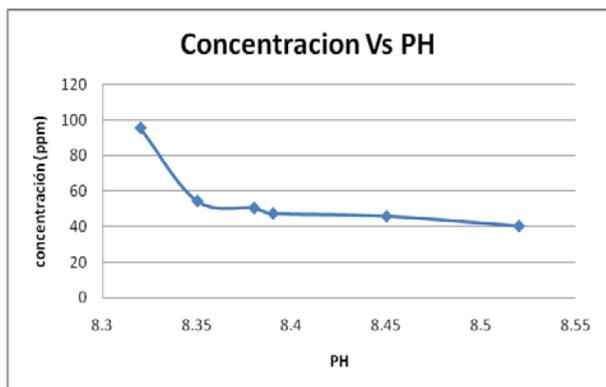


Figura 3. Variación de la concentración con respecto al pH.

De igual manera al disminuir la concentración el pH de la muestra aumenta, muy poco pero lo hace, lo cual nos indica que la presencia del colorante disminuye el pH del efluente.

Tabla 2: Resumen de Resultados

Ensayo	Concentración inicial	Concentración final	Remoción %
1	110.35	98.52	10.720435
2	111.94	56.7	49.347864
3	130.9	122.2	6.6462948
4	95.4	40.12	57.945492
5	92.2	68.8	25.379609
6	100	62.2	37.8

En la Figura No. 4 se muestra la secuencia de muestras tomadas a lo largo del experimento donde podemos observar cómo es que la concentración si cambiaba de manera muy visible.



Figura 4. Secuencia de las muestras tomadas cada hora para el experimento 4.

CONCLUSIONES

En el presente estudio se logró implementar un sistema con dos colectores solares construidos con materiales de bajo costo. Los parámetros de mayor importancia involucrados en el diseño de los colectores solares utilizados en el proceso de fotocátalisis fueron; la distancia total de recorrido del efluente, con ello el tiempo de residencia, la inclinación del colector, la forma que permitió tener una mayor superficie de captación solar, una mayor área de contacto del agua y el catalizador.

Considerando estos aspectos al realizar la experimentación del proceso fotocatalítico los porcentajes de remoción del colorante son de 57.9%, 37.8% y 25.4% para las configuraciones en serie, colector 1 y colector 2 respectivamente; valores que resultan satisfactorios de acuerdo a los reportados en la literatura.

REFERENCIAS

- [1] Bansal, P. y Sud, D. (2012). Photodegradation of commercial dye, CI reactive blue 160 using ZnO nanopowder: Degradation pathway and identification of intermediates by GC/MS, Separation and Purification Technology, 85, 112-119.
- [2] Bergamini, R.B.M.; Azevedo, E.B.L. y Raddi de Araujo, R.R., (2009). Heterogeneous photocatalytic degradation of reactive dyes in aqueous TiO₂ suspensions: Decolorization kinetics, Chemical Engineering Journal, 149, 215-220.
- [3] Laura Castro-Peña¹ J. Esteban Durán-Herrera, (2014). Degradación y decoloración de agua contaminada con colorantes textiles mediante procesos de oxidación avanzada. Tecnología en marcha, 27- 41.
- [4] Wang Yizhong. Solar photocatalytic degradation of eight commercial dyes in TiO₂ suspension. Pergamon, 34(3), 990-994.
- [5] Zang, John C. (1994). Crittenden. Fixed-Bed photocatalytic for solar decontamination of water. Environ Sci. Technol, 28, 435-442.
- [6] J.I. Ajona and A. Vidal. The use of CPC collectors for detoxification of contaminated water: desing, construction and preliminary results. Pergamon 68-1 109-120.
- [7] Garces Giraldo, Luis Fernando. (2003). Fotocátalisis con TiO₂ de los colorantes azul de metileno y naranja reactivo 84 utilizando colector solar. Tesis de maestría. Universidad de Antioquia. Facultad de ingeniería.
- [8] Ariadna Flores, Paula Vitale, Gladys N. Eyley*, Adriana I. Canizo. (2015). Remoción de colorantes textiles aplicando procesos fotoquímicos oxidativos (UV/peróxido/ lana de acero comercial) AFINIDAD LXXII 571.
- [9] Raquel F. P. Nogueira and Wilson F. Jardim. (2006). TiO₂ Fixed bed reactor for water decontamination using solar light. Pergamon 56-5 471-477